



CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 02 074.8
Anmeldetag: 21. Januar 2003
Anmelder/Inhaber: Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG,
15827 Dahlewitz/DE
Bezeichnung: Fehlerdetektionslogik für Triebwerke
IPC: F 02 C 9/28

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 29. Januar 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Hintermeier

Rolls-Royce Deutschland Ltd & Co KG
Eschenweg 11

EM 70210
20. Januar 2003

15827 Dahlewitz

5

10

15

20

Fehlerdetektionslogik für Triebwerke

Beschreibung

5 Die Erfindung betrifft eine Fehlerdetektionslogik für ein Regelsystem von Triebwerken zum Erfassen des Verlustes der Schubregelungsfähigkeit des Regelkreises.

10 Die Schubregelung von Triebwerken und damit auch die Regelung des für den jeweiligen Schub erforderlichen Kraftstoffflusses erfolgt bei einem bekannten Regelsystem auf der Grundlage des am Eingang und am Ausgang des Triebwerkes gemessenen Druckes als primärem Regelparameter und des daraus gebildeten Triebwerksdruckverhältnisses. Eine
15 positive Differenz zwischen dem Sollwert des Druckverhältnisses und dem Istwert des Druckverhältnisses weist dabei auf eine beabsichtigte Beschleunigung des Triebwerkes und dementsprechend auf eine erhöhte Kraftstoffzufuhr hin, während bei beabsichtigter Verzögerung des
20 Triebwerkes und entsprechend verringerter Kraftstoffzufuhr die Differenz zwischen dem Soll- und dem Istwert des Triebwerksdruckverhältnisses einen negativen Wert darstellt. Ein anderer primärer Regelparameter ist die Niederdruckwellenzahl.

25 Um den jeweils erforderlichen Schub mit einem möglichst geringen Fehler zu erreichen und zu gewährleisten, ist die Kraftstoffdosiereinheit (FMU: fuel metering unit), über die der Brennkammer des Triebwerkes die dem jeweils
30 erforderlichen Schub entsprechende Kraftstoffmenge zugeführt wird, um Bewegung und Geschwindigkeit eines mit dem Triebwerk verbundenen Körpers in der gewünschten Weise und mit einem minimalen Fehler zu beeinflussen, ein extrem sicherheitsrelevantes Bauteil.

35

Zum Erkennen von Fehlern und zum Erfassen von Betriebszuständen ist in das Triebwerk ein elektronisches Regelsystem (EEC: electronic engine controller) integriert. Die entsprechende Fehlerdetektionslogik ist in der Lage, einzelne Fehlfunktionen, zum Beispiel - in Bezug auf die Kraftstoffdosiereinheit - den Defekt einer der in diese eingebauten Spulen zur Regelung des Kraftstoffflusses oder das Fehlen eines Feedbacksignals zwischen der Kraftstoffdosiereinheit und dem elektronischen Regelsystem, zu erfassen. Sobald die Fehlerdetektionslogik einen Fehler feststellt, kann die Detektion aufgrund der Redundanz des Systems in einem anderen Kanal wiederholt werden. Sofern der zuvor detektierte Fehler auch in dem zweiten Kanal festgestellt wird, werden entsprechende Maßnahmen zur Behebung des Fehlers getroffen bzw. das Triebwerk wird abgeschaltet.

In bestimmten Fällen, beispielsweise wenn sich die Spannungsverhältnisse in dem Spulensystem der Kraftstoffdosiereinheit aufgrund einer unzureichenden Spannungszufuhr durch Fehler in der Anschlussleitung, den Steckern und dgl. ändern, kann die Fehlerdetektionslogik die dadurch bedingte Änderung des Kraftstoffflusses nicht erfassen. Das äußert sich in einem dem vorgegebenen Sollwert nicht folgenden Istwert des Schubes und Triebwerksdruckverhältnisses, der von der Fehlerdetektionslogik nicht als Fehler erkannt wird. Das heißt, bei dieser Art der Regelung mit einem primären Regelparameter, hier dem Triebwerksdruckverhältnis, wird ein nicht dem vorgegebenen Sollwert entsprechender, zu hoher oder zu geringer Schub nicht erfasst. Ein aufgrund dieses Regelverhaltens, das heißt, einem Verlust der Schubregelungsfähigkeit, nicht reagierendes Triebwerk ohne Reaktion des Triebwerkreglers oder ohne Anzeige des Fehlverhaltens kann katastrophale Folgen haben. Beispielsweise bei einem Startlauf kann ein Flugzeug, das mit einem nach dem geschilderten Stand der Technik

Technik geregelten Triebwerk angetrieben wird, durch einen von dem Regelsystem nicht erkannten zu hohen Schub über das Ende der Startbahn hinauschießen oder durch einen asymmetrischen Schub der beiden Triebwerke von der Startbahn abkommen. Ein nicht erkannter zu hoher Schub in einem der beiden Triebwerke ist insbesondere auch kurz vor der Landung kritisch, da der dadurch bedingte asymmetrische Schub ebenfalls zum Verlassen der Landebahn führen kann. Man spricht in diesem Fall von einem Verlust der Schubregelungsfähigkeit (LOTC: loss of thrust control), bei dem eine nicht dem vorgegebenen Sollwert entsprechende Kraftstoffmenge in die Brennkammer des Triebwerkes gefördert wird. Da das Fehlerdetektionssystem diesen Fehler jedoch nicht erkennt, kann es zu den oben beschriebenen katastrophalen Folgen kommen. Grundsätzlich kann ein Verlust der Schubregelungsfähigkeit während des gesamten Fluges auftreten, nur dass die zuvor geschilderten Fälle in ihren Folgen dramatischer sind als zum Beispiel in großer Flughöhe.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Fehlerdetektionslogik für ein Regelungssystem von Triebwerken so auszubilden, dass ein Verlust der Schubregelungsfähigkeit sicher erkannt wird.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit einem Verfahren gemäß der im Patentanspruch 1 wiedergegebenen Fehlerdetektionslogik gelöst. Aus den Unteransprüchen ergeben sich weitere Merkmale und vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

Der Grundgedanke der Erfindung besteht mit anderen Worten in einem Verfahren, wonach zunächst ein erster Regelparameter mit einem entsprechend einer Beschleunigung oder Verzögerung negativen oder positiven Vorzeichen ermittelt und daraus auf die jeweilige Schubregelung geschlossen wird. Da diese Aussage jedoch

wird. Da diese Aussage jedoch einen Triebwerksfehler, zum Beispiel im Zusammenhang mit dem Stromanschluss des Kraftstoffdosierventils, unberücksichtigt lässt und ein dadurch bedingter Verlust der Schubregelungsfähigkeit nicht erkannt wird, wird ein zweiter schubabhängiger positiver oder negativer Regelparameter ermittelt und festgestellt. Wenn in einer Logikabfrage festgestellt wird, dass die ermittelten Parameterwerte gleichzeitig jeweils einen vorgegebenen Schwellwert überschreiten, ist eine mit dem zweiten Regelparameter festgestellte nicht reagierende positive oder negative Beschleunigung bei gleichzeitiger eindeutiger Abweichung des Solltriebwerksdruckverhältnisses vom Ist-Triebwerksdruck-verhältnis ein eindeutiger Hinweis auf einen Verlust der Schubregelungsfähigkeit und löst ein Umschalten auf einen zweiten Kanal des redundanten Systems und/oder ein Alarmsignal aus. Als erster Regelparameter wird die Differenz aus dem Soll- und dem Istwert des Triebwerksdruckverhältnisses, die entsprechend einer beabsichtigten Beschleunigung oder Verzögerung entweder positiv oder negativ ist, benutzt. Als zweiter Regelparameter kann die positive oder negative Beschleunigung einer Triebwerkswelle eingesetzt werden. Mit diesem Verfahren ist sichergestellt, dass ein Verlust der Schubregelungsfähigkeit angezeigt wird. Das Verfahren vermeidet eine fälschliche Fehlerdetektion aufgrund des Signalrauschens und sieht zudem Maßnahmen zum Verhindern einer irrtümlichen Anzeige des Verlusts der Schubregelungsfähigkeit infolge eines Triebwerkspumpens vor.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein logisches Fließdiagramm zur Ermittlung einer vom Sollwert abweichenden zu geringen Schubkraft

(Underthrust-Detektion - UTDET) bei beabsichtigter Beschleunigung; und

Fig. 2 einer logisches Fließdiagramm zur Ermittlung einer vom Sollwert abweichenden zu hohen Schubkraft (Overthrust-Detektion - OTDET) bei beabsichtigter Verzögerung.

Mit dem Begriff „Underthrust“ wird hier ein geringerer Schub als die vom Piloten mit dem Schubhebel eingestellte Schubkraft bezeichnet, während umgekehrt „Overthrust“ ein höherer Schub als gefordert ist. Overthrust und Underthrust sind durch einen Fehler im Regelsystem bedingt und stellen einen Verlust der Schubregelungsfähigkeit (LOTC - loss of thrust control) dar, die erkannt und angezeigt werden muss und auf die das Regelsystem entsprechend reagieren muss.

Gemäß Fig. 1 und Fig. 2 wird aus dem Istwert EPR_{actual} des Triebwerksdruckverhältnisses EPR (engine pressure ratio) zwischen dem Ausgang und dem Eingang des Triebwerkes als Maß für den Schub und dem eingegebenen Sollwert EPR_{cmd} als Maß für den gewünschten Schub in Schritt 1 die Differenz $\pm EPR_{error}$ zwischen dem Sollwert und dem Istwert - als erstem Regelparameter - ermittelt. Wenn die Differenz positiv ist, wird der Brennkammer des Triebwerks über eine Kraftstoffdosiereinheit (nicht dargestellt) mehr Kraftstoff zugeführt und das Triebwerk beschleunigt. Ein negativer Wert der Differenz bedeutet hingegen eine Kraftstoffdrosselung und damit eine Verzögerung (negative Beschleunigung, Schubverringerung). Eine deutliche Abweichung $\pm EPR_{error, schwell}$ zwischen dem Ist- und dem Sollwert des Triebwerksdruckverhältnisses wird in Schritt 2 (beabsichtigte Beschleunigung gemäß

Fig. 1) bzw. Schritt 7 (beabsichtigte Verzögerung gemäß Fig. 2) in einem Logikbaustein festgestellt.

5 In Schritt 3 (gemäß Fig. 1 und 2) wird mit der Beschleunigung oder Verzögerung $\pm N2dot$ der Hochdruckwelle des Triebwerks ein ebenfalls die Beschleunigung oder Verzögerung des Triebwerks kennzeichnender zweiter Regelparameter ermittelt und in den Schritten 4 bzw. 8 in einem Logikbaustein mit einem vorgegebenen Schwellwert
10 $\pm N2dot, schwell$ der positiven bzw. negativen Beschleunigung der Hochdruckwelle verglichen.

15 Mit einer Logikabfrage gemäß den Schritten 5 und 9 wird festgestellt, ob die beiden Parameter EPR_{error} und $N2dot$ gleichzeitig die vorgegebenen Schwellwerte übersteigen.

20 Wenn gemäß Fig. 1 für eine beabsichtigte Beschleunigung beide Bedingungen der Logikabfrage 5 erfüllt sind, das heißt mit

$EPR_{error} > EPR_{error, schwell}$ und $N2dot < N2dot, schwell$,
wobei im vorliegenden Ausführungsbeispiel
 $EPR_{error, schwell} = + 0,15$ und $N2dot, schwell = +0,1 \text{ \%}/\text{sec}$
ist,

25 die Differenz des Triebwerksdruckverhältnisses den vorgegebenen Schwellwert ueberschreitet und die Beschleunigung der Hochdruckwelle den vorgegebenen Schwellwert gleichzeitig unterschreitet, kommt das Triebwerk tatsächlich
30 der beabsichtigten Beschleunigung nicht nach. Sofern in Schritt 15 auch kein Triebwerkspumpen festgestellt wird, liegt somit eine Underthrust-Situation, das heißt, ein bei beabsichtigter Beschleunigung zu geringer Schub, vor. Diese Underthrust-Situation (UTDET) wird in Schritt
35 6 angezeigt.

Wenn andererseits bei einer beabsichtigten Verzögerung gemäß Fig. 2 beide Bedingungen der Logikabfrage 9 erfüllt sind, das heißt,

- 5 $EPR_{\text{Error}} < EPR_{\text{Error, schwell}}$ und $N2_{\text{dot}} > N2_{\text{dot, schwell}}$,
wobei im vorliegenden Ausführungsbeispiel
 $EPR_{\text{Error, schwell}} = -0,15$ und $N2_{\text{dot, schwell}} = -0,1\% \text{sec}$,

- 10 kommt das Triebwerk der beabsichtigten Verzögerung nicht nach. Somit liegt eine Overthrust-Situation, das heißt, eine bei beabsichtigter Verzögerung zu hohe Schubkraft, vor. Dieser Zustand wird gemäß Fig. 2 in Schritt 10 (OTDET = Overthrust-Situation) angezeigt.

- 15 Somit kann bei einer beabsichtigten Beschleunigung oder Verzögerung des Triebwerks ein Verlust der Schubregelungsfähigkeit, beispielsweise aufgrund eines nicht erkannten Defekts am Kraftstoffdosierventil, sicher angezeigt werden, auf den das Regelsystem reagiert, um
20 nachteilige Folgen aufgrund eines der beabsichtigten positiven oder negativen Beschleunigung nicht entsprechenden - tatsächlichen - Schubes des betreffenden Triebwerkes zu verhindern. Mit der Anzeige in Schritt 6 und 10 wird im Ergebnis der Logikabfrage nach Schritt 5 und 9
25 durch ein Signal dargestellt, ob ein Verlust der Schubregelungsfähigkeit des Regelsystems besteht, wobei das redundante Regelsystem gegebenenfalls auf einen anderen Kanal umgeschaltet wird bzw. das Triebwerk bei einem auch in diesem Kanal festgestellten Verlust der Schubregelungsfähigkeit abgeschaltet wird.
30

- 35 Die gemäß Fig. 1 in den Schritten 11 bzw. 12 zur Ermittlung einer zu geringen Schubkraft (Underthrust) und gemäß Fig. 2 in den Schritten 13 und 14 eingegebenen Schwellwerte $EPR_{\text{Error, schwell}}$ und $N2_{\text{dot, schwell}}$ sind in der Zeichnung mit $-UEPRMN$ und $-UN2DMN$ bzw. $+OEPRMN$ und

+ON2DMN bezeichnet und sind so vorgegeben, dass sie eine Underthrust-Detektionsgrenze bzw. eine Overthrust-Detektionsgrenze (Schwellwert) zur Vermeidung von durch Signalrauschen bedingten Störungen darstellen.

5

Darüber hinaus wird mit dem gleichzeitig in die Fehlerdetektionslogik eingebundenen Schritt 15 verhindert, dass die getroffene Aussage über die Schubregelung bzw. den Verlust der Schubregelungsfähigkeit unter bestimmten Bedingungen, das heißt, wenn ein Pumpen des Triebwerks detektiert wird (SRGDET), verfälscht wird.

10

15

Bei einer durch das sogenannte Triebwerkspumpen in Schritt 15 festgestellten Störung, bei der beide Bedingungen der Logikabfrage 5 erfüllt sind, jedoch tatsächlich keinen Verlust der Schubregelungsfähigkeit darstellen, wird das Ergebnis der Logikabfrage 5 mit einem Timer und über einen Schalter für eine bestimmte Zeit auf „False“ gesetzt, um aufgrund des Triebwerkspumpens nicht fälschlich einen Verlust der Schubregelungsfähigkeit und eine Underthrust-Situation anzuzeigen.

20

Aufstellung der verwendeten Abkürzungen

5	EPR	Triebwerkdruckverhältnis
	EPRcmd	Sollwert des Triebwerkdruckverhältnisses
	EPRactual	Istwert des Triebwerksdruckverhältnisses
10	EPRerror	EPRcmd - EPRactual (erster Regelparameter)
	N2dot	Beschleunigung der Hochdruckwelle (zweiter Regelparameter)
15	N2dot,schwell	Schwellwert der Beschleunigung der Hochdruckwelle (UN2DMN, ON2DMN)
	EPRerror,schwell	Schwellwert des Triebwerksdruckverhältnisses (UEPRMN, OEPRMN)
	UTDET	Underthrust-Detektion
20	OTDET	Overthrust-Detektion
	SRGDET	Detektion des Triebwerkspumpens
	LOTG	Verlust der Schubregelungsfähigkeit
	EEG	elektronisches Regelsystem

25

Patentansprüche

1. Fehlerdetektionslogik für ein Regelsystem von Triebwerken zum Erfassen des Verlustes der Schubregelungsfähigkeit des Regelsystems, bei dem bei beabsichtigter positiver oder negativer Beschleunigung eine zu geringe bzw. zu hohe Schubkraft erzeugt wird, dadurch gekennzeichnet, dass
- als ein erster Regelparameter der Fehler (+/- EPRerror) eines auf eine Triebwerksbeschleunigung oder -verzögerung bezogenen Wertes ermittelt wird sowie ein von der Beschleunigung oder Verzögerung abhängiger zweiter Regelparameter (+/- N2dot) gemessen wird und beide Regelparameter jeweils mit einem vorgegebenen Schwellwert (EPRerror, schwell = +UEPRMN, -OEPRMN; N2dot, schwell = +UN2DMN, -ON2DMN) verglichen werden; und festgestellt wird, ob die jeweiligen Schwellwerte gleichzeitig überschritten werden; und weiterhin detektiert wird, ob ein Triebwerkspumpen vorliegt, wobei - unter Eliminierung von durch Signalrauschen oder Triebwerkspumpen bedingten Störungen - bei gleichzeitigem Überschreiten der beiden Schwellwerte eine entgegen der beabsichtigten positiven oder negativen Beschleunigung zu hohe oder zu geringe Schubkraft (OTDET, UTDET) detektiert wird.
2. Fehlerdetektionslogik nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- als erster Regelungsparameter die positive oder negative Differenz (EPRerror) aus dem Sollwert (EPRcmd) und dem Istwert (EPRactual) des Triebwerksdruckverhältnisses (EPR) bei einer Beschleunigung oder Verzögerung benutzt wird und der abhängi-

ge zweite Parameter die positive oder negative Beschleunigung ($N2dot$) einer Triebwerkswelle ist.

3. Fehlerdetektionslogik nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
der zweite Parameter die positive oder negative Beschleunigung ($N2dot$) einer Hochdruckwelle oder einer Mitteldruckwelle oder einer Niederdruckwelle ist.
4. Fehlerdetektionslogik nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
der zweite Parameter die zeitliche Ableitung eines Druckes oder Druckverhältnisses im Triebwerk ist.
5. Fehlerdetektionslogik nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
der zweite Parameter die zeitliche Ableitung des Kraftstoffflusses ist.
6. Fehlerdetektionslogik nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
der zweite Parameter die zeitliche Ableitung des Drehmoments einer Triebwerkswelle ist.
7. Fehlerdetektionslogik nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
der zweite Parameter die zeitliche Ableitung einer Triebwerkstemperatur oder eines Triebwerkstemperaturverhältnisses ist.
8. Fehlerdetektionslogik nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
der vorgegebene Schwellwert des ersten Regelparameters und der vorgegebene Schwellwert des zweiten Regelparameters jeweils ein Grenzwert zur Vermeidung

dung von durch Signalrauschen bedingten Störungen bei zu hohem Schub (-OEPRMN, -ON2DmN) oder bei zu geringem Schub (+UEPRMN, +UN2DMN) sind.

- 5 9. Fehlerdetektionslogik nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Schwellwert des Fehlers des Triebwerksdruckver-
hältnisses etwa + bzw. -0,15 und der Schwellwert
der Beschleunigung einer Triebwerkswelle als zwei-
10 tem Regelparameter etwa + bzw. -0,1%/sec beträgt,
wobei $EPR_{Error} > 0,15$ und eine gleichzeitig festge-
stellte $N2dot < 0,1\%/sec$ einen zu geringen Schub
bei beabsichtigter Beschleunigung und $EPR_{Error} < -$
0,15 und eine gleichzeitig festgestellte $N2dot > -$
15 0,1% einen zu großen Schub bei beabsichtigter Ver-
zögerung detektieren.
10. Fehlerdetektionslogik nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
20 bei einer Detektion eines Triebwerkspumpens
(SRGDET) das Ergebnis des gleichzeitigen Vergleichs
der ersten und zweiten Regelparameter mit dem zuge-
hörigen Schwellwert mit einem Logikargument „False“
überschrieben wird, um eine durch Triebwerkspumpen
bedingte Störung der Detektion des Verlusts der
25 Schubregelungsfähigkeit zu vermeiden.
- 30

Zusammenfassung

Bei einer Fehlerdetektionslogik für ein Regelsystem von
5 Triebwerken zum Erfassen eines bei einer beabsichtigten
positiven oder negativen Beschleunigung zu geringen bzw.
zu hohen Schubes werden der positive oder negative Fehler
des Triebwerkdruckverhältnisses und die positive oder ne-
gative Beschleunigung einer Triebwerkswelle gleichzeitig
10 jeweils mit einem vorgegebenen Schwellwert verglichen,
wobei mit dem gleichzeitig ermittelten Überschreiten der
beiden Schwellwerte ein Verlust der Schubregelungsfähig-
keit sicher detektiert wird. Durch Triebwerkspumpen und
Signalrauschen bedingte Störungen werden eliminiert.

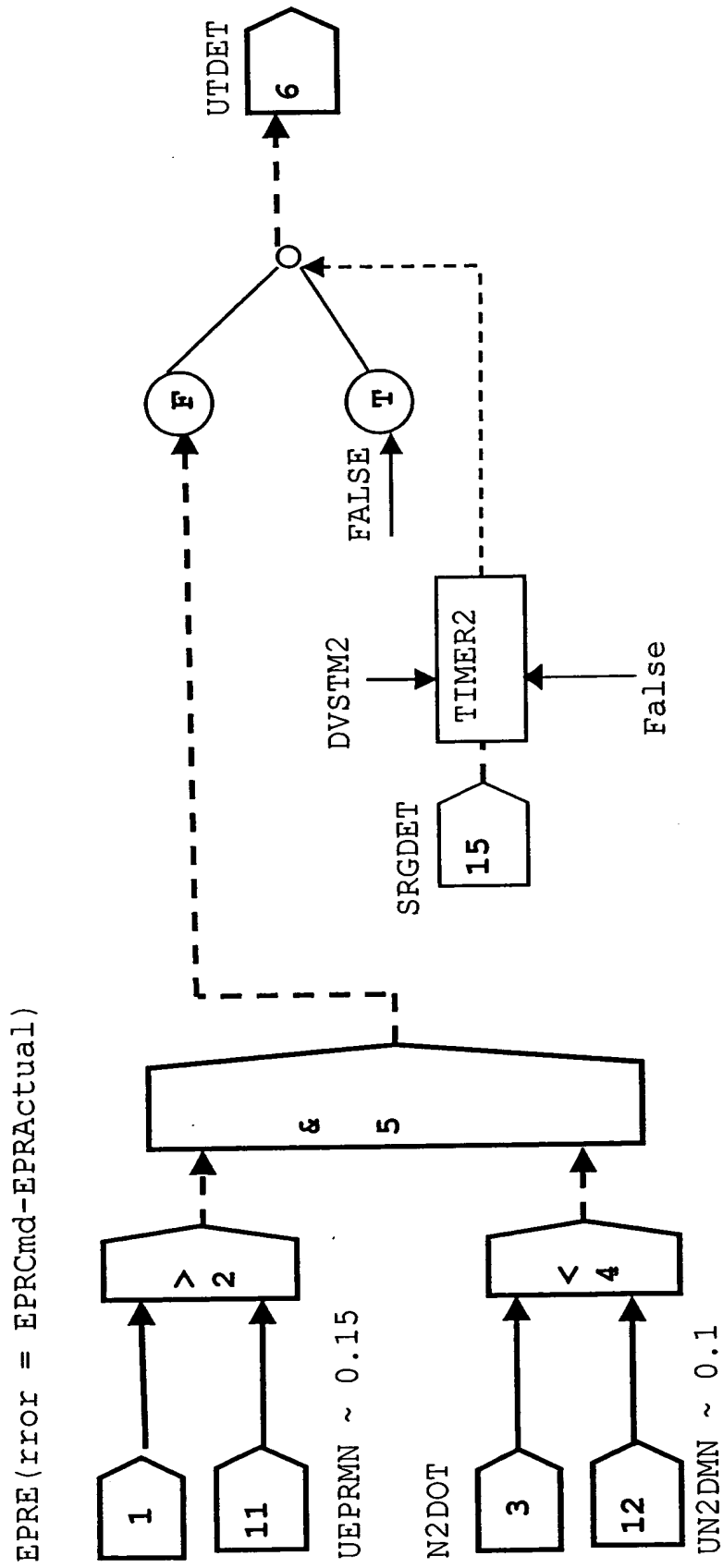


Fig. 1

EPRE(rroor = EPRCmd-EPRActual)

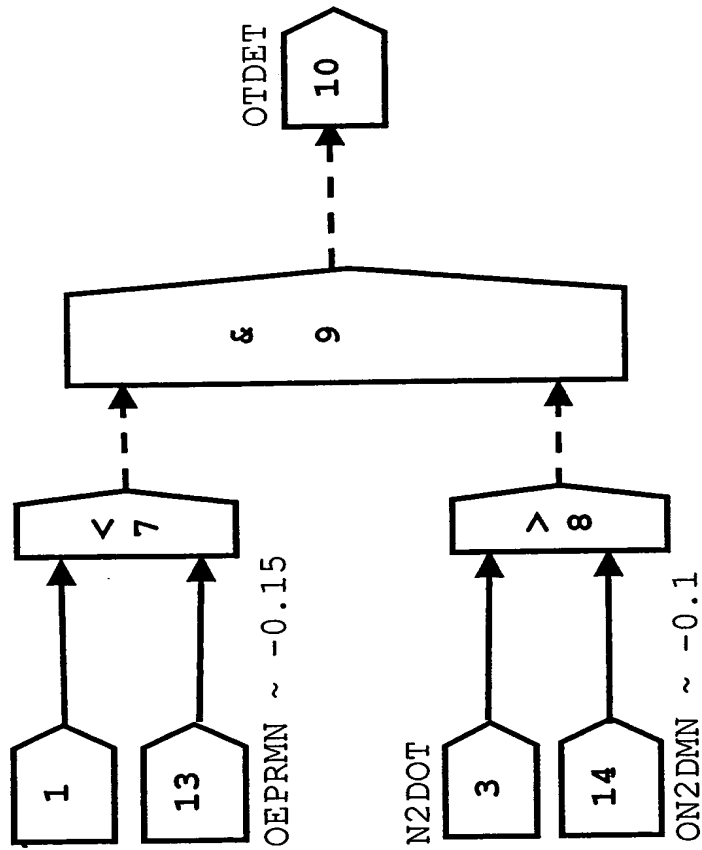


Fig. 2